

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Ověřování vybraných parametrů
LED
Verification of selected parameters
of LED

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Šebesta**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Ověřování vybraných parametrů LED**
Verification of selected parameters of LED
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- o Parametry bílých LED a LED modulů
- o Omezení oslnění ve vnitřních pracovních prostorech
- o Konstrukce svítidel z pohledu omezení oslnění
- o Porovnání jasů LED svítidel různých konstrukcí v různých úhlech pohledu
- o Měření oslnění osvětlovací soustavy využívající LED svítidla


Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Sokanský, K.: Světelná technika. ČVUT, Praha 2011
- [2] Habel, J.: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013
- [3] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU
- [4] Manuály k výpočetním programům (Relux, Dialux, WILS)
- [5] www.csorsostrava.cz

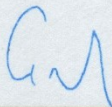
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2016
Datum odevzdání: 28.04.2017


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry





prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Ostrava, 28. duben 2017

podpis



Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Karlu Sokanskému, CSc. za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je objasnit a vysvětlit parametry světelných zdrojů a konkrétně poukázat na výhody a nevýhody používání světelných zdrojů osazené LED. Ve své práci jsem se zaměřil na vyhodnocení hodnot jasů u svítidel využívající LED světelné zdroje a uvedl způsoby, jak omezit oslnění ve vnitřních prostorech.

Problém oslnění u LED světelných zdrojů jsem ověřil dvěma metodami měření na osvětlovací soustavě. Výsledné hodnoty daných parametrů, získané pomocí obou metod měření, jsem mezi sebou porovnal a zhodnotil v závěru.

Výběrem správného způsobu omezení oslnění jsem měřením ověřil, že jasy svítidla bez stínítka nevyhovovaly normě, ale při použití stínítka již hodnoty jasů vyhovovaly.

Hlavním výsledkem bakalářské práce tedy je poukázat na případné vysoké hodnoty jasů u LED světelných zdrojů a uvést možné varianty jejich omezení, resp. snížení.

Klíčová slova

Oslnění, LED, jas, jasová analýza, vnitřní prostory, světelný zdroj

Abstract

The aim of this thesis is to clarify and explain parameters of light sources, particularly to show the advantages and disadvantages of the LED light sources. The thesis is focused on evaluation of brightness of the LED lights and ways to eliminate dazzling in inner spaces.

The problem of the LED lighting source dazzling has been verified by means of two methods of measurement performed on the lighting system. The final values of the parameters obtained from these two measurement methods have been compared and evaluated in the conclusion of this thesis.

The right choice of dazzling elimination measuring has proved that brightness of lights without shades did not comply with the standard while those ones provided with shades were satisfying.

The main result of this thesis is to highlight the high values of the LED lighting brightness values and to present possible options of their elimination or reduction.

Key words

Lighting, LED, brightness, brightness analysis, inner spaces, lighting source

Obsah

| | |
|--|----|
| Seznam použitých symbolů a zkratk | 7 |
| Použité symboly | 7 |
| Použité zkratky | 7 |
| Seznam ilustrací | 8 |
| Seznam tabulek | 8 |
| Úvod | 9 |
| 1. Podstata světla a historie LED | 10 |
| 1.1. Podstata světla a jeho historie | 10 |
| 1.2. Historie světelných zdrojů a LED | 11 |
| 2. Parametry bílých LED a LED modulů | 12 |
| 2.1. Světelný tok | 12 |
| 2.2. Svítivost | 12 |
| 2.3. Index podání barev | 13 |
| 2.4. Náhradní teplota chromatičnosti | 13 |
| 2.5. Měrný výkon | 13 |
| 2.6. Životnost světelného zdroje (h) | 14 |
| 2.7. Další parametry světelných zdrojů | 14 |
| 2.7.1. Vyzařovací úhel | 14 |
| 2.7.2. Geometrický tvar | 14 |
| 2.7.3. Provedení pouzdra | 14 |
| 2.7.4. Druh a hladina provozního napětí | 14 |
| 2.7.5. Cena | 14 |
| 2.8. Srovnání parametrů různých typů světelných zdrojů | 15 |
| 3. Omezení oslnění ve vnitřních pracovních prostorech | 17 |
| 3.1. Oslnění | 17 |
| 3.2. Omezení oslnění | 18 |
| 3.2.1. Omezení oslnění cloněním | 18 |
| 3.2.2. Závoje oslnění odrazem a oslnění odrazem | 18 |
| 3.3. Osvětlování vnitřních pracovních prostor | 19 |
| 3.3.1. Pracoviště obecně | 19 |
| 3.3.2. Pracoviště s trvalou prací s výpočetní technikou | 19 |
| 3.3.3. Pracoviště s občasnou prací s výpočetní technikou | 19 |
| 4. Konstrukce svítidel z pohledu omezení oslnění | 20 |
| 4.1. Úpravy konstrukce svítidel z pohledu omezení oslnění | 20 |
| 4.1.1. Reflektor | 20 |
| 4.1.2. Refraktor | 21 |
| 4.1.3. Difuzor (rozptylovač) | 22 |
| 4.1.4. Omezení oslnění u LED svítidel | 23 |
| 5. Porovnání jasů LED svítidel různých konstrukcí v různých úhlech pohledu | 24 |
| 5.1. LED svítidla s lesklými reflektory | 24 |
| 5.2. LED svítidla s prizmatickými kryty | 25 |
| 5.3. Zářivkové trubice a LED trubice | 26 |

| | |
|---|----|
| 6. Měření oslnění osvětlovací soustavy využívající LED svítidla | 27 |
| 6.1. Cíl měření..... | 27 |
| 6.2. Postup měření..... | 28 |
| 6.3. Měření jasů pomocí jasového analyzátoru LMK | 29 |
| 6.4. Měření křivek svítivosti | 30 |
| 6.5. Vyhodnocení měření | 31 |
| 6.5.1. Vyhodnocení snímků z jasového analyzátoru LMK | 31 |
| 6.5.2. Vyhodnocení křivek svítivosti..... | 31 |
| 7. Tabulky naměřených a vypočtených hodnot..... | 33 |
| 7.1. Hodnoty jasů z programu LMK labsoft | 33 |
| 7.2. Vypočtené průměrné jasy z křivek svítivosti | 33 |
| 8. Závěr | 34 |
| Seznam použité literatury:..... | 35 |
| Seznam použitých webových stránek: | 35 |
| Přílohy:..... | 37 |

Seznam použitých symbolů a zkratek

Použité symboly

| | |
|-----------|---|
| c | rychlost světla ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) |
| I | svítivost (cd) |
| L | jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) |
| L_{MIN} | minimální jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) |
| L_{MAX} | maximální jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) |
| $L_{STŘ}$ | průměrný jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) |
| Ra | index podání barev (-) |
| S | plocha vyzařování (m^{-2}) |
| T_C | náhradní teplota chromatičnosti (K) |
| S | plocha vyzařování (m^{-2}) |
| α | úhel clonění, úhel natočení svítidla ($^{\circ}$) |
| ϕ | světelný tok (lm) |
| η | měřený výkon ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$) |

Použité zkratky

| | |
|------|---|
| AEB | Auto Exposure Bracketing (automatické posouvání expozice) |
| CRI | Color Rendition Index |
| DLM | Downlight Module (LED modul) |
| DPH | Daň z přidané hodnoty |
| LED | Light-Emitting Diode (dioda emitující světlo) |
| LMK | Lightning measuring camera (světlo měřící fotoaparát-jasový analyzátor) |
| PMMA | Polymethylmethakrylát |
| SMD | Surface Mount Device (povrchová montáž) |
| UGR | Unfield Glare Rating (jednotné hodnocení oslnění) |

Seznam ilustrací

| | |
|--|----|
| Obrázek 1-Barevné spektrum [11] | 10 |
| Obrázek 2- První patentovaná žárovka na světě (vlevo) [9] | 11 |
| Obrázek 3-LED žárovka (vpravo) [10] | 11 |
| Obrázek 4-Interpretace minimálních úhlů clonění [20] | 18 |
| Obrázek 5-LED svítidlo s reflektorem [24] | 21 |
| Obrázek 6-LED pásek s difuzním krytem [28] | 22 |
| Obrázek 7-LED svítidlo složené z dvou reflektorů MIRO Silver německé firmy Alux-Luxar [22] | 23 |
| Obrázek 8-LED downlight s lesklým reflektorem | 24 |
| Obrázek 9-Jasová mapa LED downlightu (55°, 65°, 75°) | 25 |
| Obrázek 10-Jasová mapa LED downlightu s prizmatickým krytem, úhly (55°,65°,75°,85°)..... | 25 |
| Obrázek 11-Jasová mapa mřížkového svítidla osazeného zářivkou (nahore) a LED trubici (dole) | 26 |
| Obrázek 12-Downlight Philips DLM 3000 | 27 |
| Obrázek 13-Lesklý reflektor z přímého pohledu (vlevo) a z bočního pohledu (vpravo) | 27 |
| Obrázek 14-Matný reflektor z přímého pohledu (vlevo) a z bočního pohledu (vpravo) | 28 |
| Obrázek 15-Velká fotometrická lavice se svítícím LED downlightem uprostřed..... | 28 |
| Obrázek 16-Jasový analyzátor LMK na stativu | 29 |
| Obrázek 17-Luxmetr pro měření křivek svítivosti | 30 |
| Obrázek 18- Křivky svítivosti LED downlightu bez stínítka, s matným a lesklým reflektorem | 32 |
| Obrázek 19-Jasové mapy downlightu bez stínítka pro (85°, 75°, 65°) | 37 |
| Obrázek 20-Jasové mapy downlightu s lesklým reflektorem pro (85°, 75°, 65°)..... | 38 |
| Obrázek 21-Jasové mapy downlightu s matným reflektorem pro (85°, 75°, 65°) | 39 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1-Hodnoty vlnových délek záření a jejich příslušný barevný tón [1] | 10 |
| Tabulka 2-Srovnání parametrů světelných zdrojů [15] [16] [17] [18] [19] | 15 |
| Tabulka 3- Legenda barev k tabulce 2 | 15 |
| Tabulka 4-Minimální úhly clonění dané normou ČSN EN 12464-1 [20]..... | 18 |
| Tabulka 5-Srovnání různých materiálů z pohledu odrazu světla od povrchu [23]..... | 20 |
| Tabulka 6-Srovnání různých materiálů z pohledu propustnosti světla [1]..... | 21 |
| Tabulka 7-Rozměry LED modulu a reflektorů | 31 |
| Tabulka 8-Příklad jednoho řádku hodnot (hodnoty pro downlight bez stínítka) | 32 |
| Tabulka 9-Hodnoty jasů downlightu bez stínění..... | 33 |
| Tabulka 10-Hodnoty jasů downlightu s matným reflektorem..... | 33 |
| Tabulka 11-Hodnoty jasů downlightu s lesklým reflektorem | 33 |
| Tabulka 12-Průměrné hodnoty jasů downlightu bez stínění | 33 |
| Tabulka 13 Průměrné hodnoty jasů downlightu s matným reflektorem | 33 |
| Tabulka 14-Průměrné hodnoty jasů downlightu s lesklým reflektorem | 33 |

Úvod

Pravděpodobně každý už slyšel, ve spojení se světlem nebo něčím, co vydává světlo, slovo "LEDka". Většina lidí si pod tímto slovem představí červenou nebo zelenou slabě svítící kontrolku na počítači nebo televizi, která signalizuje buď zapnutý, nebo vypnutý stav. Ovšem LED světelné zdroje mají i širší využití ve světelné technice.

V posledních pár letech se ve světelné technice čím dále tím více skloňuje slovo "LED" coby světelný zdroj použitelný do svítidla. Tato skutečnost je daná tím, že LED světelné zdroje zažívají v poslední době poměrně velký vzestup a svými výbornými vlastnostmi postupně vytlačují tradiční světelné zdroje, jako např. žárovky nebo zářivky. Tyto kladné vlastnosti na druhé straně vyvažují nevýhody. U vývoje LED světelných zdrojů se konstruktéři a vývojáři zabývají dvěma základními problémy - chlazení a oslnění. Tato bakalářská práce se věnuje problematice omezení oslnění osvětlovací soustavy využívající LED světelných zdrojů a na základě měření na této soustavě navrhuje případné řešení tohoto problému.

První kapitola obsahuje základní informace o světle, jeho podstatu a krátký souhrn historie světelných zdrojů a zhodnocení vývoje LED.

Druhá kapitola se věnuje popisu a významu jednotlivých parametrů světelných zdrojů, jako např. světelný tok, svítivost nebo také životnost světelného zdroje. Závěr kapitoly je věnován srovnání hlavních parametrů různých světelných zdrojů používaných ve vnitřních prostorech, jako např.: LED žárovka, halogenová žárovka nebo kompaktní zářivka.

Z pohledu omezení oslnění se řídíme platnými normami. Toho se týká další kapitola. Zde je uvedeno, jakým způsobem se omezuje oslnění svítidel ve vnitřních prostorech z pohledu normy ČSN EN 12464-1. Dále je v této části bakalářské práce vysvětleno, jak je vnitřní prostor definován a jakým způsobem se dělí.

Konstrukce svítidla je z pohledu omezení oslnění velice zásadní a této problematice se týká další kapitola. Úpravou svítidla, resp. světelně činné části, můžeme ve značné míře měnit řadu světelných parametrů. Jedním z těchto parametrů je také změna jasu svítidla. Tento parametr je při vyhodnocování oslnění klíčový. S úpravou svítidla může také přijít i negativní změna ostatních parametrů, jako např. snížení účinnosti svítidla.

Různé typy LED svítidel nemusí být konstrukčně správně navrženy a po detailní analýze jasovými analyzátory lze říct, že i zdánlivě správně navržené svítidlo může v různých úhlech pohledu vykazovat velmi vysoké jasy, které mohou oslňovat.

V praktické části bakalářské práce je provedeno měření osvětlovací soustavy využívající LED světelný zdroj. Dvěma metodami jsou vyhodnocovány jasy LED svítidla bez stínění a se stínítky (lesklý a matný reflektor). V závěru jsou výsledky měření obou metod zhodnoceny a z nich vyplývají otázky týkající se dalšího pozorování této problematiky oslnění.

1. Podstata světla a historie LED

1.1. Podstata světla a jeho historie

Jako první věc, která by se měla definovat, ještě předtím než začnou rozebírat jednotlivé parametry LED a jiných světelných zdrojů, je podstata světla jako samotného. Světlo je jedním z nejdůležitějších parametrů pro celý náš život a bez světla bychom neexistovali.

Světlo nebylo dlouho fyzikálně vysvětleno. Až v 17. století předložil Christian Huighens v pařížské Akademii pojednání o povaze světla jako podélného vlnění. Avšak tehdy více uznávaný fyzik Izac Newton považoval světlo za tok částic a jeho teorie byla veřejností spíš přijata. Vše se změnilo v 19. století, kdy anglický fyzik James Clerk Maxwell označil světlo jako druh elektromagnetického vlnění, kde vycházel ze své teorie elektromagnetického pole.

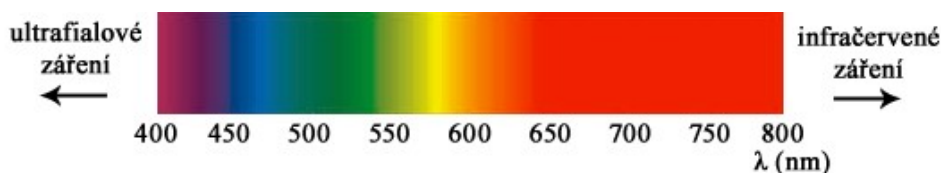
Viditelné světlo je tedy elektromagnetické vlnění vyzařující do prostoru v úzkém rozmezí vlnových délek, a to 380-780 nm.

Rychlost světla ve vakuu je $c=299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, ale v praxi se pro zjednodušení počítá s číslem $3\cdot 10^8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Tato rychlost je tou nejvyšší rychlostí, s jakou se můžeme v celém vesmíru setkat a nikdy jí nemůžeme dosáhnout.

Viditelné světlo, které je rozeznatelné rozeznat lidským okem, má také vlastnost vyzařovat určitou barvu. Barva světla je závislá na vlnové délce vyzařovaného záření a odborně jí označujeme jako barevný tón. [1] [2] [3] [4]

Tabulka 1-Hodnoty vlnových délek záření a jejich příslušný barevný tón [1]

| Vlnová délka záření (nm) | Barva světla (barevný tón) |
|--------------------------|----------------------------|
| 380-420 | Fialová |
| 420-440 | Modrofialová |
| 440-460 | Modrá |
| 460-510 | Modrozelená |
| 510-560 | Zelená |
| 560-590 | Žlutá |
| 590-650 | Oranžová |
| 650-780 | Červená |



Obrázek 1-Barevné spektrum [11]

1.2. Historie světelných zdrojů a LED

Již v pravěku znali tehdejší lidé a živočichové světlo. Nejznámějším světelným zdrojem (také tepelným) bylo v denních hodinách Slunce a v noci se za světelný zdroj považoval Měsíc a svítící hvězdy na noční obloze. Ovšem člověk tehdy potřeboval světlo o vyšším světelném toku a tak byl vynalezen oheň, jakožto nový zdroj jak světelného výkonu, tak tepelného.

S vynálezem elektřiny se americký vědec a vynálezce Thomas Alva Edison rozhodl využít potenciál elektrické energie a zkusit ji přeměnit na světelnou. V roce 1879 tak rozsvítil svou první žárovku a započala tak éra světelných zdrojů, jenž ke svému chodu používají elektrickou energii.

Postupným vývojem se žárovka zdokonalovala a byly vynalezeny další světelné zdroje jako rtuťové nebo sodíkové výbojky, zářivky, úsporné žárovky nebo také luminiscentní diody.

Elektroluminiscence byla objevena už v roce 1907 britským výzkumníkem Henrym Josephem Roundem, který zjistil, že určité anorganické látky vydávají viditelné světlo po přiložení napětí. Ale až v roce 1962 byla LED využita prakticky. Slabě svítící červená LED se začala používat do kalkulaček značky HP. PN přechod obsahoval prvky Galia, Arsenu a Fosforu. Tento objev učinil americký vědec Nick Holonyak.

O pár let později se začaly vyrábět i LED s různými barvami jako zelená, oranžová nebo žlutá. V roce 1993 vyvinul japonský profesor Shuji Nakamura jasně svítící modrou LED a později také bílou.

V novém tisíciletí začal vývoj takzvaných LED žárovek, jejichž měrné výkony začaly dosahovat desítek $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$. V dnešní době je v laboratorních podmínkách možné dosáhnout měrného výkonu u LED až $250 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$. [5] [6] [7] [8]



Obrázek 2- První patentovaná žárovka na světě (vlevo) [9]



Obrázek 3-LED žárovka (vpravo) [10]

2. Parametry bílých LED a LED modulů

Každý světelný zdroj by měl mít ve svém technickém listu nebo "datasheetu" uvedené své parametry. Ty jsou nejen světlené, ale jsou to také i informace o elektrických vlastnostech, geometrických rozměrech, stupni krytí atd. Tyto parametry by měly zákazníkovi sloužit jako hlavní faktor pro to, jaký výrobek si koupit. V následující kapitole jsou vyjmenovány a popsány hlavní parametry svítidel. Pro lepší názornost je na konci této kapitoly provedeno srovnání různých typů světelných zdrojů právě z pohledu parametrů světelných zdrojů.

Hlavní světelné parametry jsou: světelný tok, svítivost, index podání barev, náhradní teplota chromatičnosti, měrný výkon a životnost světelného zdroje.

Ostatní parametry jsou např.: geometrické rozměry, dovolená provozní teplota, druh a hladina provozního napětí, krytí, vyzařovací úhel, atd. [1]

2.1. Světelný tok

Jednotka: Lumen (lm)

Symbol: Φ

Světelný tok je fotometrická veličina vyjadřující množství světelné energie, kterou vyzáří světelný zdroj za jednotku času. Závisí také na druhu a typu světelného zdroje a také na vlnové délce světla. Při výběru světelného zdroje je to zásadní veličina, která nám říká jaký je celkový světelný výkon, který nám daný světelný zdroj dokáže vyzářit. Tento údaj by měl být součástí každého katalogového listu daného světelného zdroje. [1] [12] [13] [14]

2.2. Svítivost

Jednotka: Kandela (cd)

Symbol: I

Svítivost je jedna ze základních veličin soustavy SI. Popisuje distribuci světelného záření do prostoru. Je dána změnou vyzářeného světelného toku do prostorového úhlu. Původně se jednotka 1cd rovnala svítivosti plamenu svíčky, ale od roku 1979 je kandela definována jako svítivost zdroje, který vyzařuje pod určitým úhlem monochromatické záření s intenzitou $1/683 \text{ W} \cdot \text{sr}^{-1}$ a frekvenci $540 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$. Tato frekvence je reprezentována vlnovou délkou 555 nm (žlutozelená barva) a lidské oko je na ní nejvíce citlivé.

Tato veličina není většinou výrobci udávána v technických listech, proto se ve srovnání jednotlivých světelných zdrojů tato veličina neobjeví. [1] [12] [13] [14]

2.3. *Index podání barev*

Jednotka: poměrová veličina (0-100)

Symbol: Ra

Index podání barev (Ra), označovaný také jako CRI podle anglického výrazu Color Rendition Index, uvádí, do jaké míry je člověk schopen, pod daným zářením, věrně vnímat barvy osvětlovaných předmětů. Hodnota 0 Ra znamená, že člověk pod tímto osvětlením není schopen rozeznat jednotlivé barvy předmětů a vše se mu jeví ve stupních šedi barvy, které dané světlo vyzařuje. Zatímco hodnota 100 Ra je rovna slunečnímu svitu a pod tímto světlem je člověk schopen rozeznat věrně všechny barvy daných předmětů.

Index podání barev se většinou vyhodnocuje jako průměr naměřených hodnot. Pro prostory s trvalým pobytem osob je normou daná hodnota $Ra \sim 80$. [1] [12] [13] [14]

2.4. *Náhradní teplota chromatičnosti*

Jednotka: Kelvin (K)

Symbol: T_C

Tento parametr nám dává informaci o tom, jaký má světelný zdroj barvu světla, resp. jak "teplá nebo studená" je daná barva vyzařovaného světla. U klasických vláknových žárovek teplota vlákna odpovídá teplotě chromatičnosti, ale u výbojových zdrojů se zavádí pojem náhradní teplota chromatičnosti. Náhradní teplota chromatičnosti se určuje jako teplota ekvivalentního tepelného zdroje s podobným spektrálním složením, jaký má daný výbojový světelný zdroj.

Zjednodušeně můžeme říct, že čím máme teplotu chromatičnosti nižší, tím je dané světlo teplejší, tudíž zbarvené více do červených tónů barev. Naopak čím máme teplotu chromatičnosti vyšší, dané světlo se nám jeví chladnější a má zbarvení do bíla až modra.

Tento parametr má také vliv na psychické vnímání člověka a je volen spíš z hlediska estetických vlastností. Při vybavení bytu musíme brát v potaz jakou "teplotu světla" máme raději anebo které barvy nám jsou příjemnější. [1] [12] [13] [14]

2.5. *Měrný výkon*

Jednotka: Lumen na watt ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$)

Symbol: η

Měrný výkon představuje přeměnu elektrické energie (příkonu zdroje) na světelný tok daného zdroje. Dalo by se zjednodušeně říct, že nám definuje účinnost světelného zdroje.

Teoreticky dosažitelný maximální měrný výkon pro fotopické vidění je $683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Horších měrných výkonů dosahují klasické vláknové žárovky. Naopak vysokých hodnot dosahují v dnešní době LED, ze kterých dokážeme v laboratorních podmínkách dosáhnout až $200 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. [1] [12] [13] [14]

2.6. Životnost světelného zdroje (h)

Jednotka: jednotka času, hodina (h)

Symbol: -

Posledním, velice důležitým parametrem světelných zdrojů, je životnost. Tato hodnota nám určuje, jak přibližně dlouho nám světelný zdroj vydrží hospodárně svítit. U klasických vláknových žárovek se určuje průměrná životnost. To znamená čas, za jaký nám svítí přesně jedna polovina zkoumaných vzorků. Zjednodušeně řečeno za jak dlouhou dobu se nám u poloviny zkoumaných žárovek přepálí jejich vlákno. U výbojových zdrojů se určuje tzv. užitná životnost. Ta znamená, za jakou dobu nám u světelného zdroje klesne hodnota světelného toku na 80% původní hodnoty. U LED se uvažuje se 70% původního světelného toku.

Dobu životnosti nám může negativně ovlivnit mnoho faktorů jako např.: časté zapínání, přehřívání PN přechodu u LED, vyšší provozní teploty, vyšší napětí a proudy než pro které je dané zařízení navrženo, atd. [1] [12] [13] [14]

2.7. Další parametry světelných zdrojů

2.7.1. Vyzařovací úhel

Parametr, který nám uvádí do jakého úhlu je daný světelný zdroj schopen vyzařovat své záření. Například u klasické žárovky to je 360°, ale u LED světelných zdrojů to může být od 15° do 360° podle typu konstrukce. [1]

2.7.2. Geometrický tvar

Kritérium, které je bráné většinou u projektování ("otázka, jestli nám dané světlo někam vejde nebo ne"). Popřípadě se na tento parametr lze dívat z estetické stránky.

2.7.3. Provedení pouzdra

Řeší se většinou při návrhu zařízení nebo při montáži. Příkladem jsou LED s klasickými pájecími vývody "s nožkami" nebo SMD technologie.

2.7.4. Druh a hladina provozního napětí

Opět otázka toho, kam chceme daný světelný zdroj použít: stejnosměrný obvod nebo střídavý. A dále hladina napětí, jako např. od malých LED používaných v deskách plošných spojů (řádově jednotky voltů) až po žárovky nebo jiné světelné zdroje na nízké napětí 230 V.

2.7.5. Cena

Posledním parametrem, ovšem ne méně důležitým, je pořizovací cena světelného zdroje. Každý zdroj má své výhody a nevýhody jako např. žárovka. I přes své nevýhody, co se týče malé účinnosti a krátké životnosti, má oproti ostatním zdrojům velkou výhodu a tou je její pořizovací cena. Na tento faktor se můžeme dívat z různých úhlů pohledu, ale pro většinu lidí je právě tento poslední faktor tím nejdůležitějším.

2.8. Srovnání parametrů různých typů světelných zdrojů


Pro srovnání byly použity světelné zdroje, které jsou běžně k sehnání v obchodech a používají se pro osvětlování vnitřních prostor. Jako měřítko, podle kterého jsou světelné zdroje porovnávány, je hodnota světelného toku.


Tabulka 2-Srovnání parametrů světelných zdrojů [15] [16] [17] [18] [19]

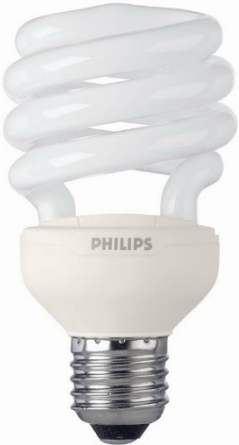
| Typ světelného zdroje | Index podání barev (Ra) | Měrný výkon ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$) | Životnost světelného zdroje (h) | Cena včetně DPH |
|-----------------------|-------------------------|---|---------------------------------|-----------------|
| Wol. žárovka | 100 | 13,3 | 1000 | 13,- Kč |
| Hal. žárovka | 100 | 17,14 | 2000 | 45,-Kč |
| Kom. zářivka | 80-89 | 67,5 | 8000 | 117,-Kč |
| Lin. zářivka | 80-89 | 75 | 20000 | 45,-Kč |
| LED žárovka | 80 | 83,44 | 30000 | 397,-Kč |


Tabulka 3- Legenda barev k tabulce 2


| | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1.místo | 2.místo | 3.místo | 4.místo | 5.místo |
|---------|---------|---------|---------|---------|

| | | |
|---|--|---------------------------------------|
|  | Wolframová žárovka [19] | |
| | Název: TESLAMP TESLAMP žárovka 100W 230V E27 | |
| | Světelný tok | 1330 lm |
| | Index podání barev (Ra) | 100 |
| | Náhradní teplota chromatičnosti | 2700 K |
| | Měrný výkon | $13,3 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ |
| | Životnost světelného zdroje | 1 000 h |
| | Cena včetně DPH | 13,- Kč |

| | | |
|---|-----------------------------------|--|
|  | Halogenová žárovka [17] | |
| | Název: OSRAM CLASSIC E27 77W 230V | |
| | Světelný tok | 1320 lm |
| | Index podání barev (Ra) | 100 |
| | Náhradní teplota chromatičnosti | 2800 K |
| | Měrný výkon | $17,14 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ |
| | Životnost světelného zdroje | 2 000 h |
| | Cena včetně DPH | 45,- Kč |

| | | |
|---|------------------------------------|-------------------------|
|  | Kompaktní zářivka [16] | |
| | Název: PHILIPS TORNADO E27 20W/827 | |
| | Světelný tok | 1350 lm |
| | Index podání barev (Ra) | 80-89 |
| | Náhradní teplota chromatičnosti | 2700 K |
| | Měrný výkon | 67,5 lm·W ⁻¹ |
| | Životnost světelného zdroje | 8 000 h |
| | Cena včetně DPH | 117,- Kč |

| | | |
|--|-------------------------------------|-----------------------|
|  | Lineární zářivka [15] | |
| | Název: OSRAM 18W/827 G13 LUMILUX-T8 | |
| | Světelný tok | 1350 lm |
| | Index podání barev (Ra) | 80-89 |
| | Náhradní teplota chromatičnosti | 2700 K |
| | Měrný výkon | 75 lm·W ⁻¹ |
| | Životnost světelného zdroje | 20 000 h |
| | Cena včetně DPH | 45,- Kč |

| | | |
|---|---------------------------------------|--------------------------|
|  | LED žárovka [18] | |
| | Název: SCHMACHTL 16W E27 2700K CRI 80 | |
| | Světelný tok | 1335 lm |
| | Index podání barev (Ra) | 80 |
| | Náhradní teplota chromatičnosti | 2700 K |
| | Měrný výkon | 83,44 lm·W ⁻¹ |
| | Životnost světelného zdroje | 30 000 h |
| | Cena včetně DPH | 397,- Kč |

3. Omezení oslnění ve vnitřních pracovních prostorech

Tato kapitola se věnuje problematice oslnění. Je zde definováno co oslnění je, jak vzniká, jaké má účinky, jaké hodnoty oslnění jsou udány v platných normách atd. Tato práce se věnuje pouze oslnění ve vnitřních prostorech. Dovolené hodnoty oslnění a některé základní pojmy, jako např. vnitřní prostory, jsou v následující kapitole definovány dle normy ČSN EN 12464-1.

3.1. Oslnění

Oslnění je nežádoucí stav pro lidské oko, kdy jas světelného zdroje je mnohonásobně vyšší než jas okolí. Lidské oko se nestihne za tak krátkou dobu adaptovat na hladinu jasu vyzařovaného světelným zdrojem a naše oči se automaticky přivrou. Oslnění můžeme rozdělit podle jejich velikosti na:

- psychologické oslnění - dochází k narušení zrakové pohody
- fyziologické oslnění - dochází k částečnému znemožnění vidění
- absolutní oslnění - vidění je znemožněno v celé míře [21]

Oslnění ve vnitřních prostorech je způsobeno vysokými jasy svítidel, okenních otvorů nebo může vznikat odrazem světla od lesklých ploch. Takovému oslnění se říká relativní a je to nejčastější případ oslnění, se kterým se můžeme setkat ve vnitřních prostorech.

Při návrhu osvětlení vnitřního prostoru se pracuje s pojmem rušivé oslnění. Stanovuje se tak jednotný systém hodnocení oslnění pro vnitřní prostory CIE (UGR). CIE-z francouzského Commission internationale de l'éclairage "Mezinárodní komise pro osvětlení" a UGR-unfield glare rating "jednotné hodnocení oslnění". Hodnota UGR je daná v normě EN ČSN 12464-1 pro jednotlivé prostory, druhy činností nebo úkolů, který je na daném místě vykonáván nebo je také dána vzorcem:

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \cdot \left(\frac{0,25}{L_b} \cdot \sum \frac{L^2 \cdot \omega}{p^2} \right)$$

L_b = jas pozadí ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)

L = jas svítící části každého svítidla ve směru oka pozorovatele ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)

p = činitel polohy podle Gutha pro každé svítidlo podle jeho odchýlení od směru pohledu (-)

ω = prostorový úhel každého svítidla ve směru oka pozorovatele (sr)

Hodnota UGR nabývá různých hodnot pro různé výšky pohledu. To znamená, že čím jsou oči pozorovatele výše, tím bude pravděpodobnost oslnění nižší. Naopak čím jsou oči pozorovatele níže, tím více se projeví příspěvek k oslnění.

Při měření adaptačních jasů může nastat chyba ve výpočtu, protože adaptační jas by se měl posuzovat bez příspěvku oslňujících světelných zdrojů. Přesný výpočet lze zajistit pouze tak, že rušivé oslnění nejsou při měření přímo vidět.

Index oslnění je k chybám shovívavý a např. 33% chyba při výpočtu adaptačního jasu nám způsobí chybu jedné jednotky UGR. Proto je podstatné, aby se kontroloval nejvyšší jas oslňující plochy a v případě překročení limitních hodnot se svítidlo vybavilo příslušným stínícím prvkem. [1]

3.2. Omezení oslnění

Aby byla splněna norma pro oslnění pro vnitřní prostory (splnění tabulkových hodnot UGR pro dané vnitřní prostory nebo činnosti vykonávané v těchto vnitřních prostorách), musíme světelné zdroje, resp. svítidla jistým způsobem upravit. V této kapitole jsou uvedeny způsoby omezení oslnění.

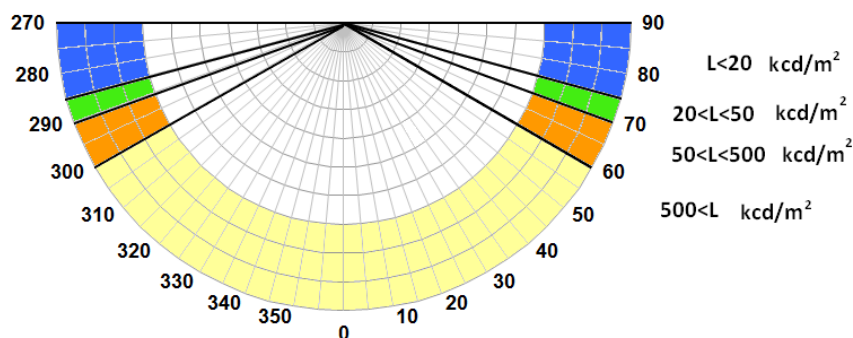
3.2.1. Omezení oslnění cloněním

Jednou z variant omezení oslnění je úprava konstrukce svítidla. Svítidlo se doplní o prvky, které změni charakter vyzařovaného světla. Jedná se o difuzory, refraktory a reflektory. Světlo ze svítidla je tedy rozptýleno, a tím pádem se snižuje i jas svítidla (dopadající světelný tok vyzařovaný v prostorovém úhlu dopadající na jednotku plochy, tedy svítivost na danou plochu). Omezení oslnění cloněním spočívá tedy v tom, že pokud snížíme jas svítidla, zlepšíme tím hodnotu UGR, ale zhoršíme celkovou účinnost svítidla.

V normě ČSN EN 12464-1 je tabulkou udáván minimální úhel clonění pro světelné zdroje daných jasů – tabulka 4. Ovšem je důležité dodat, že tyto parametry nezahrnují svítidla z rozptýlenými kryty, svítidla s nepřímým vyzařováním a svítidla, která jsou instalována pod úroveň očí. [1] [20]

Tabulka 4-Minimální úhly clonění dané normou ČSN EN 12464-1 [20]

| Jas světelného zdroje ($\text{kcd} \cdot \text{m}^{-2}$) | Minimální úhel clonění α (°) |
|--|-------------------------------------|
| 20 až < 50 | 15 |
| 50 až < 500 | 20 |
| ≥ 500 | 30 |



Obrázek 4-Interpretace minimálních úhlů clonění [20]

3.2.2. Závoje oslnění odrazem a oslnění odrazem

Nepříjemné odrazy nemusí být způsobeny pouze přímým pohledem do světelného zdroje, ale mohou nastat také odrazem světla od lesklých ploch nebo povrchů v místnosti. Tomu lze zamezit například použitím matných nebo antireflexních povrchů ať už nábytku nebo jiných předmětů v místnosti. Jednou z dalších možností zamezení nepřímého oslnění je uspořádání nábytku (pracovních stolů) vzhledem ke svítidlům nebo použití světlých maleb stropů a stěn. Světlé (ideálně bílé) barvy stěn nejlépe odráží světlo, a tím zvyšuje jas okolí, čímž se snižuje i hodnota UGR. [1]

3.3. Osvětlování vnitřních pracovních prostor

V normě ČSN EN 12464-1 jsou uvedeny tabulky, které určují dovolené hodnoty např. udržovanou osvětlenost (E_m), maximální mezní hodnoty oslnění (UGR_L) nebo index podání barev (R_a) pro různé druhy prostorů, úkolů nebo činností různých vnitřních pracovních prostor jako např. zdravotnické zařízení, administrativní zařízení nebo školská a výchovná zařízení.

Pokud v seznamu tabulek v normě ČSN EN 12464-1 nenajdeme daný prostor, úkol nebo aktivitu, musíme použít hodnoty pro podobnou nebo srovnatelnou situaci. [1]

3.3.1. Pracoviště obecně

Pracoviště je místo určené pro soubor zařízení za předpokladu, že se jedná o firmu nebo organizaci a jakékoliv další místo v zóně firmy nebo organizace, k němuž má pracovník během své činnosti přístup. [20]

Pracovní místo je soubor a prostorové uspořádání výrobního zařízení v pracovním prostředí za podmínek určených pracovním úkolem. [20]

V minulosti se pracoviště s výpočetní technikou ("počítači") posuzovaly bez ohledu na to, jestli se jedná o pracoviště s trvalou prací nebo s občasnou prací na výpočetní technice. Dnes lze tyto prostory rozdělit právě na pracoviště s trvalou prací s výpočetní technikou a na pracoviště s občasnou prací s výpočetní technikou. [1] [20]

3.3.2. Pracoviště s trvalou prací s výpočetní technikou

Rozmístění svítidel na stropě by mělo být v těchto prostorách pravidelné nebo by mělo být ve světelných pásích bílých velkoplošných svítidel s mřížkami orientovanými paralelně k oknu.

Při analýze takovéhoho pracoviště můžeme rozdělit běžný pohled pracovníka: do směrů na klávesnici, obrazovku, předlohu, plochu pracovního stolu a vertikální dělicí plochu pracoviště. [1]

3.3.3. Pracoviště s občasnou prací s výpočetní technikou

Jsou to prostory, kde se především provádějí činnosti jako např.: čtení, psaní, studium, práce s výpočetní technikou, tvůrčí práce. Nejlepším řešením osvětlení pro takové prostory je denní světlo přicházející z levé strany. Ovšem denní světlo nesplňuje všechny požadavky na osvětlení vnitřního prostoru. Někdy je denního světla málo, někdy jej musíme potlačovat např. stínění žaluziemi. Činností v těchto prostorách je více a proto i požadavky na osvětlení jsou jiné než u pracoviště s trvalou prací s výpočetní technikou. [1]

4. Konstrukce svítidel z pohledu omezení oslnění

Tato bakalářská práce se věnuje problematice omezení oslnění u svítidel ve vnitřních pracovních prostorech. V následující kapitole je rozebraný princip úpravy konstrukce svítidla, tak aby se snížil jas vyzařovaný z něj, a tím se zlepšila hodnota oslnění UGR pro vnitřní prostory.

4.1. Úpravy konstrukce svítidel z pohledu omezení oslnění

Svítidlo se běžně skládá z několika základních částí. Jednou z nich je i tzv. světelně činná část. Tato část svítidla slouží k určité úpravě světelného toku jdoucího ze světelného zdroje svítidla směrem ven. Existují tři základní typy světelně aktivních částí svítidla: reflektor, refraktor a difuzor. Spojení těchto základních typů se nazývá kombinovaný systém. Správnou aplikací těchto světelně aktivních částí můžeme docílit požadovaného efektu a to snížení jasů a tím i lepších hodnot oslnění UGR.

V závislosti konstrukce svítidel z hlediska omezení oslnění se zavádí pojem kvalita stínítka daný normou ISO 9241-7. Norma ČSN EN 12464-1 udává maximální přípustné hodnoty jasů na zobrazovacích jednotkách (hlavně monitory počítačů).

Kvalita stínítka I. a II. – jas svítidla pod úhlem 65° nesmí překročit $1\,000\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

Kvalita stínítka III. – jas svítidla pod úhlem 65° nesmí překročit $200\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

Parametry stínítek ovlivňuje poloha zářivkových svítidel a počet lamel, které určují úhel clonění. Se zvýšením počtu lamel se nám zvýší úhel clonění, ale naopak klesá účinnost svítidla.

4.1.1. Reflektor

Reflektor (z latinského *reflecto*, ohýbám nazpět, odrážím) funguje tak, že světelné paprsky odráží pod stejným úhlem, jakým dopadly na odraznou plochu. Odraznou plochu tvoří tzv. parabola, která je vytvořena z ideálně světelně nepropustného materiálu a má ideální činitel odrazivosti. Takové paraboly se vyrábějí ze slitin hliníku, který je buď vyleštěný, nebo pokovený lesklou vrstvou chromu. Pro levnější aplikace je tělo paraboly vyrobeno z plastu, které je pokoveno lesklou vrstvou kovu.

Z pohledu omezení oslnění se dá tento prvek použít jako stínítko, které zacloní světelný zdroj, který může v daném úhlu pohledu vykazovat vysoké jasy.

V následující tabulce lze vidět odrazivosti různých materiálů vyjádřené v procentech. [1] [23] [25] [26].

Tabulka 5-Srovnání různých materiálů z pohledu odrazu světla od povrchu [23]

| Materiál | Koeficient odrazu světla v % |
|-------------------|------------------------------|
| bílý papír | 80-85 |
| šedý, černý papír | 3 |
| samet | 1-4 |
| suchý žlutý písek | 30 |
| bílá malba | 75-85 |
| zrcadlo | 70-90 |
| hliník leštěný | 50-60 |
| leštěné stříbro | 90-95 |
| zlato | 80-97 |



Obrázek 5-LED svítidlo s reflektorem [24]

4.1.2. Refraktor

Tato světelně činná část pracuje na principu optického zákona lomu. Refraktor se nejčastěji vyrábí z dobře světelně propustného materiálu jako je např. sklo, PMMA (polymethylmethakrylát), fólie nebo různé plasty. Existují různé typy úpravy povrchů jako např. matný, lesklý nebo opálový. Refraktorem je také známá mřížka na klasických zářivkových tělesech, které mají široké uplatnění ve školních zařízeních. Díky této úpravě svítidla se světelný tok vyzařovaný ze svítidla rozptýlí a tím se sníží úroveň jasu svítidla. Svítivost svítidla se tak rozprostře do větší plochy.

Příkladem refraktorů je použití technologie ELDACon společnosti Siteco, která se nejčastěji používá pro osvětlení pracovišť s výpočetní technikou. Optická část svítidla tvoří světlovodná deska z PMMA, která je vyrobena z přesně tvarovaných mikroskopických hranolů. Paprsek světla se v této desce láme a dopadá na tenkou vrstvu přesné mikropřizmatické struktury, kde je paprsek dále směřován mimo svítidlo. Použitím této technologie lze docílit velice nízkých jasů (až 4x nižších než při použití parabolické mřížky) zároveň při vysoké intenzitě osvětlení.

Každý světelně propustný materiál má určitou pohltivost (absorpci). V následující tabulce lze vidět srovnání různých typů materiálu z pohledu jejich propustnosti světla. [1] [26] [27]

Tabulka 6-Srovnání různých materiálu z pohledu propustnosti světla [1]

| Materiál | Prostupnost světla v % |
|------------------------------------|------------------------|
| čiré sklo (tl. 2 - 4 mm) | 90-92 |
| sklo matové leptané (tl. 2 - 3 mm) | 75-91 |
| sklo opálové bílé (tl. 2 - 3 mm) | 36-66 |
| sklo opalizované (tl. 2 - 3 mm) | 59-84 |
| mramor bílý lesklý (tl. 7 - 10 mm) | 3-8 |

4.1.3. *Difuzor (rozptylovač)*

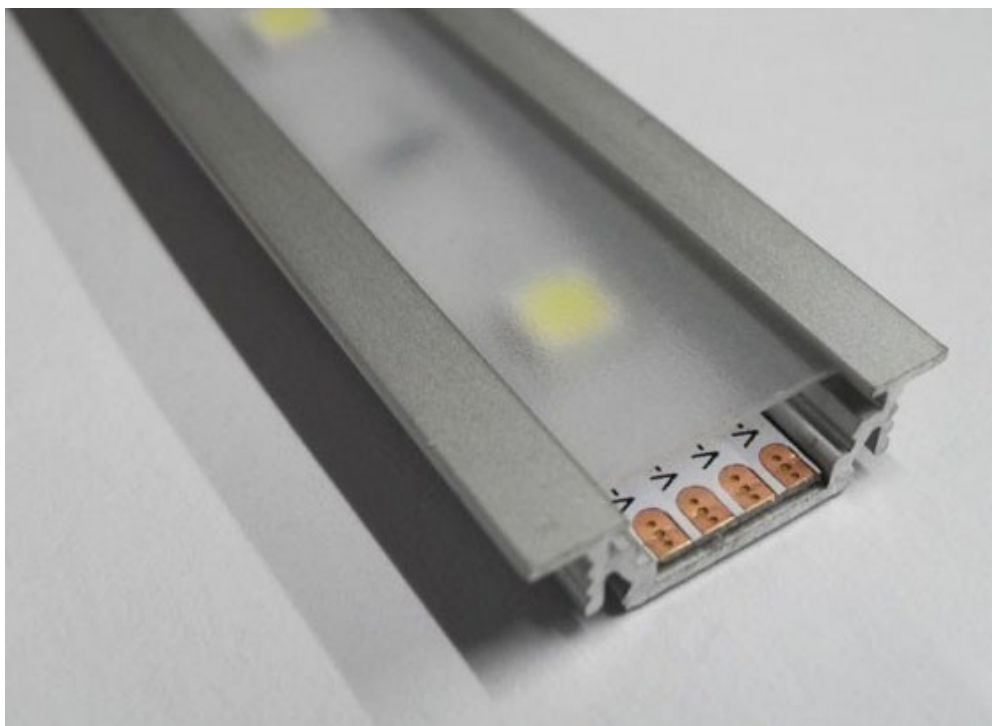
Ke své činnosti využívá principu rozptylu světla neboli difuze. V případě difuze dochází ke dvěma možným případům -přímý prostup světla a difúzní rozptyl.

U průhledných materiálů (sklo, plexisklo, průhledná kapalina, atd.) dochází k prostupu světla tak, že úhel dopadu paprsků je stejný i po průchodu materiálem, ale tyto paprsky jsou rovnoběžně posunuty.

Difúzní rozptyl nastává u dokonale rozptylujících materiálů a výsledné světlo vycházející z difuzoru se nám jeví jako rovnoměrně rozptýlené. V praxi takový případ ale nenajdeme a hovoříme potom o tzv. smíšeném prostupu světla, kdy část paprsků prostupuje materiálem přímo a část se rozptýlí.

Už z významu difuzorů je jasné, že tento typ světelně činné části svítidla pomáhá při omezení oslnění tak, že rozloží světlo do větší plochy a tím i sníží jas svítidla. Stejně jako u refraktorů není propustnost materiálů nikdy dokonalá a tak musíme dbát i na účinnost přestupu světla přes difuzor. Ztráty ve skleněných difuzorech bývají jednotky procent pro kolmý směr vyzařování. Ovšem pokud budeme difuzor osvětlovat pod čím dál větším úhlem, účinnost nám bude rapidně klesat, až na hodnoty kolem 20%.

Difuzory neboli rozptylovače, se vyrábějí nejčastěji z čirých, matných nebo mléčných skel, plastů, fólií, plexiskel a dalších světlo propustných materiálů. Čirý difuzor se používá v místech, kde jsou nejvyšší nároky na světelné podmínky a lze s nimi dosáhnout hodnot UGR 16-19. Matný nebo opálový difuzor poskytuje měkké světlo. Rozptylovače zároveň slouží svítidlu jako ochrana před mechanickým poškozením světelného zdroje, proti znečištění nebo také proti vniknutí cizích předmětů. [1] [24] [26]



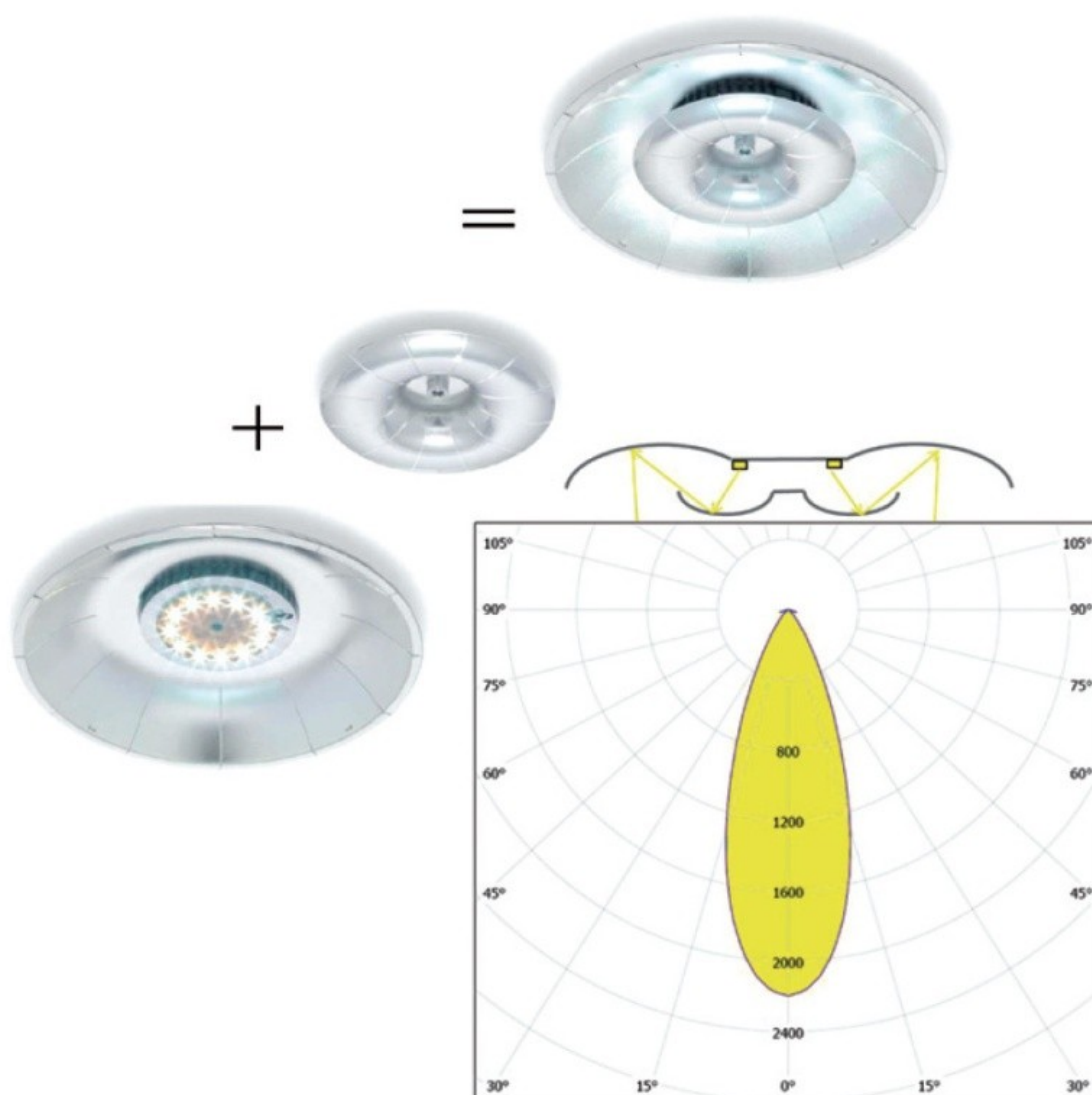
Obrázek 6-LED pásek s difúzním krytem [28]

4.1.4. Omezení oslnění u LED svítidel

LED sám o sobě je bodový zdroj světla, tudíž vyzařuje světlo v relativně malém vyzařovacím úhlu a jasy takových LED můžou dosahovat desítek až statisíc cd.m^{-2} . Taková hodnota je při vyhodnocování oslnění velice vysoká a je třeba jí snížit.

Jednou z možností snížení jasu je konstruovat LED svítidlo tak, aby mělo světelně činnou část přizpůsobenou k vedení světla (reflektor, refraktor nebo difuzor).

V případě použití reflektorů je snaha o to, aby světlo ze svítidla bylo vyvedeno v jednom, popř. dvěma odrazech od ideálně lesklých ploch paraboly. Plocha paraboly by měla mít co nejlepší koeficient odrazu, aby nedocházelo ke snižování účinnosti svítidla. Příkladem takového materiálu je obchodně označený MIRO Silver německé firmy Alux-Luxar, kde účinnost odrazu od povrchu paraboly reflektoru je 98% a při dvou odrazech od lesklých ploch se ztratí pouze 4% světelného toku. [22]



Obrázek 7-LED svítidlo složené z dvou reflektorů MIRO Silver německé firmy Alux-Luxar [22]

5. Porovnání jasů LED svítidel různých konstrukcí v různých úhlech pohledu

V poslední době se velmi rozmohlo používání LED světelných zdrojů. Mezi jejich hlavní výhody patří např. vysoká účinnost, malá spotřeba nebo dlouhá životnost. Na druhé straně "LEDky" vyvažují nevýhody, mezi které patří ten fakt, že jsou to bodové světelné zdroje a disponují vysokými jasy (statisíce až miliony $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$), které je třeba snížit z hlediska omezení oslnění. Další nevýhodou je použití relativně velkých chladičů z důvodu chlazení PN přechodu.

V dalších bodech kapitoly je použit odkaz na článek "Hodnocení jasů LED svítidel typu downlight" od pánů Ing. Zbyněka Carbola, Ing. Tomáše Nováka a Ph.D. Ing. Jana Šumpicha, kde popisují problematiku oslnění a příklady špatně navržených LED svítidel.

5.1. LED svítidla s lesklými reflektory

Níže na obrázku 8 lze vidět LED downlight s plošným LED světelným zdrojem. Jako světelně činná část tohoto svítidla je použit lesklý reflektor. Ovšem na snímcích jasových map (obrázek 9) svítidla v různých úhlech pohledu můžeme vidět, že řešení tohoto svítidla lesklým reflektorem není úplně optimální.

V měřeném úhlu 55° dochází k přímému odrazu paprsků od plošného LED světelného zdroje na relativně malé ploše a jasy dosahují hodnot více než $125\,000\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Průměrná hodnota jasu svítidla je $13\,000\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

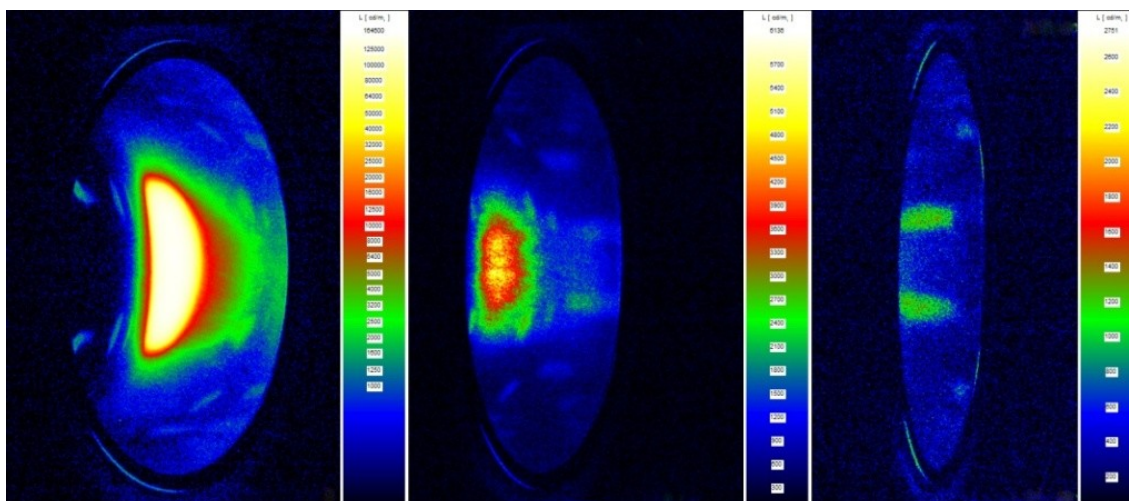
V měřeném úhlu 65° je maximální jas podstatně nižší a jeho hodnota dosahuje hodnot kolem $6\,000\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Průměrná hodnota jasu je $1\,000\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

V měřeném úhlu 75° je maximální jas svítidla nejnižší, protože se v tomto úhlu měření neuplatní žádné přímé odrazy od reflektoru. Hodnota maximálního jasu se pohybuje kolem $1\,500\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Průměrná hodnota jasu je $200\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

V případě použití reflektoru u tohoto svítidla nastal opačný efekt. Reflektor se stal sekundárním zdrojem oslnění s nepřijatelnými hodnotami jasů a je nevhodný pro použití u tohoto LED downlightu. Jelikož naměřené hodnoty jasů nevyhovují, je nutné vybavit svítidlo takovým reflektorem, který bude pro tento typ downlightu navržen optimálně a nebude docházet k sekundárním odrazům, které by mohly způsobit vysoké jasy a tím i způsobit oslnění.



Obrázek 8-LED downlight s lesklým reflektorem



Obrázek 9-Jasová mapa LED downlightu (55°, 65°, 75°)

5.2. LED svítidla s prizmatickými kryty

Dalším typem svítidla, které nebylo správně navrženo (na základě vyhodnocení jasových map níže-obrázek 10), je LED downlight s prizmatickým neboli rozptylovým krytem.

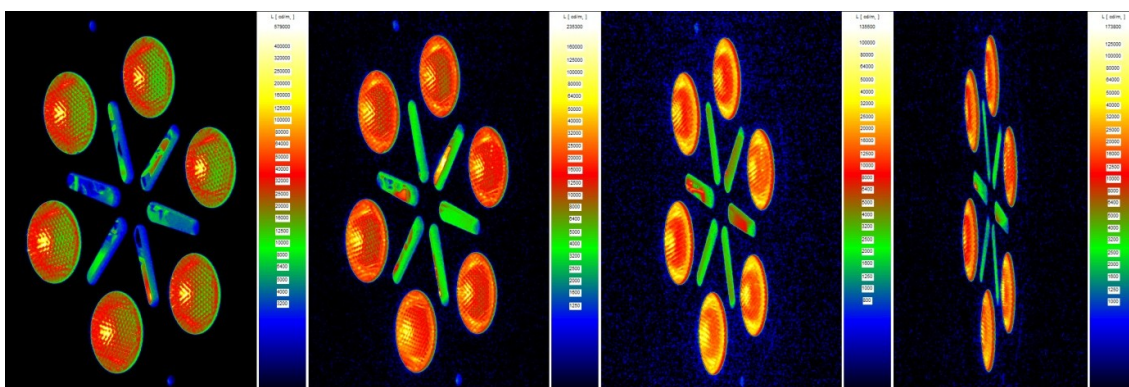
V měřeném úhlu 55° dochází k lokálnímu prosvítání a maximální jasy vyhodnocené z jasové mapy dosahují hodnot až $363\,000\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Průměrná hodnota jasu je $24\,000\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

V měřeném úhlu 65° jsou maximální jasy o něco málo nižší než v měření při úhlu 55°, ale i tak dosahují hodnot kolem $138\,000\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Průměrná hodnota jasu je $17\,000\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

V měřeném úhlu 75° dosahují maximální hodnoty jasů přes $67\,000\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Průměrná hodnota jasu je $14\,000\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

U tohoto svítidla způsobují oslnění světelné body s vysokým jasnem. Jak již bylo zmíněno, LED světelné zdroje jsou bodové světelné zdroje, které vyzařují relativně velký světelný tok z malé plochy vyzařování a tím mohou jasy dosahovat vysokých hodnot. Navíc si lze všimnout, že u chladících otvorů svítidla dochází k prosvítání velkých jasů, které dosahují hodnot několik statisíc $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

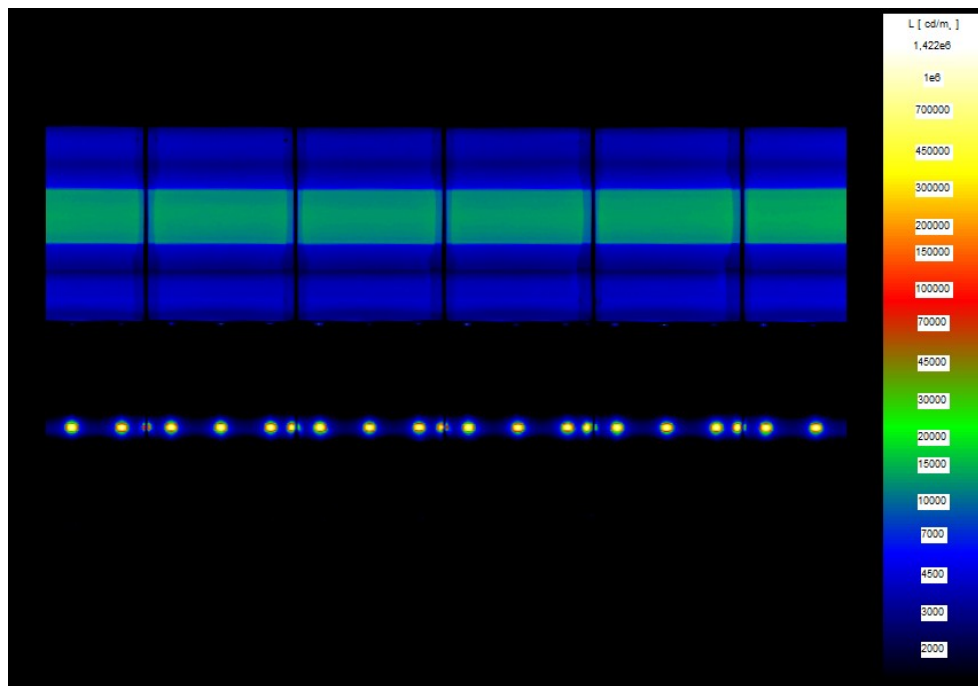
Právě díky vysokým hodnotám jasů, jak světelně činných částí, tak i chladících otvorů, je nutno svítidlo vybavit úhlem clonění z důvodu snížení vlivu oslnění. V tomto případě úhlem clonění 20°. Lze uvést také závěr, že i v některých případech nemusí použití prizmatického krytu zamezit vzniku vysokým jasům.



Obrázek 10-Jasová mapa LED downlightu s prizmatickým krytem, úhly (55°, 65°, 75°, 85°)

5.3. Zářivkové trubice a LED trubice

Na jasové mapě (obrázek 11) lze vidět ve vrchní části svítidlo osazené lineární zářivkou a reflektorem, kde maximální hodnoty jasů nepřesahují $15\,000\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Ovšem ve spodní části jasové mapy se nachází stejné svítidlo s LED trubicí, kde se vliv reflektoru neuplatňuje. Maximální hodnoty jasů dosahují v tomto případě hodnot až $300\,000\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, což je nevyhovující z hlediska vyhodnocení oslnění. V takovém případě je nutné doplnit LED trubici stínítkem zajišťující minimální úhel clonění. V tomto případě stínítkem s úhlem clonění 20° .



Obrázek 11-Jasová mapa mřížkového svítidla osazeného zářivkou (nahore) a LED trubicí (dole)

6. Měření oslnění osvětlovací soustavy využívající LED svítidla

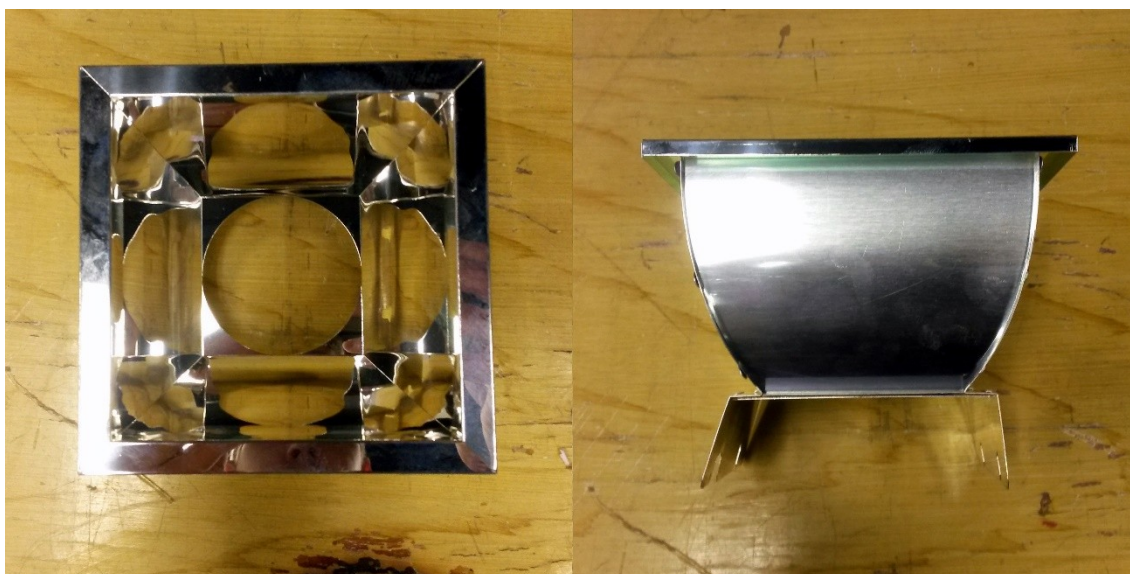
6.1. Cíl měření

Cílem měření je změřit a porovnat hodnoty jasů LED downlightu s různými stínítky (lesklým a matným reflektorem) a bez stínítka. Hodnoty jasů se změří dvěma metodami a porovnají se jejich výsledky.

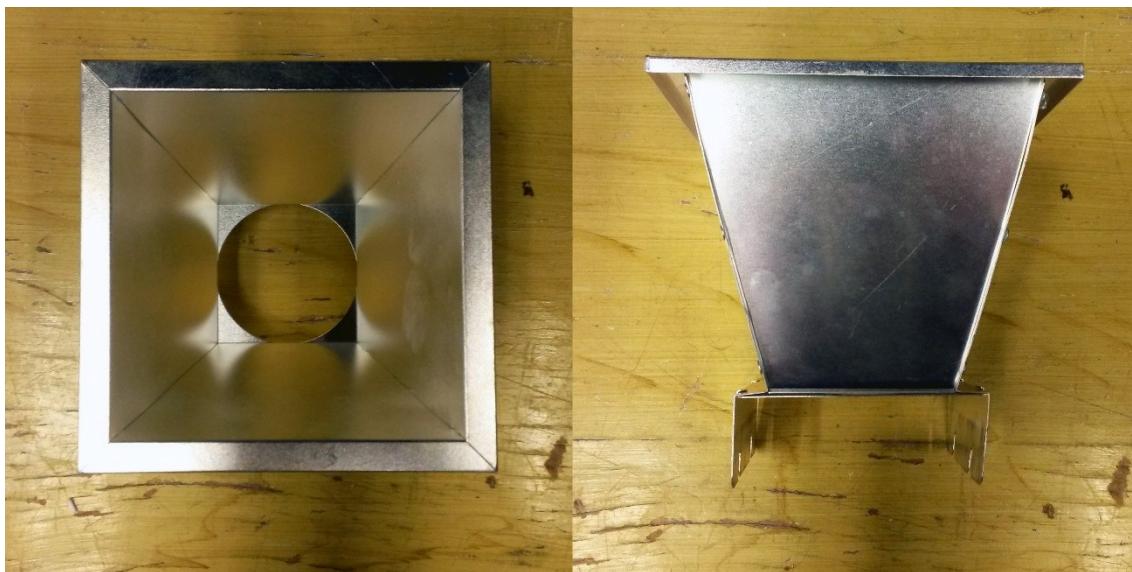
Důležité je poukázat na vysoké hodnoty průměrných jasů LED downlightu bez použití stínítka a učinit opatření, jak těmto vysokým průměrným jasům zamezit (použití stínítka-lesklého nebo matného reflektoru), a tím i vyhovět normě týkající se oslnění.



Obrázek 12-Downlight Philips DLM 3000



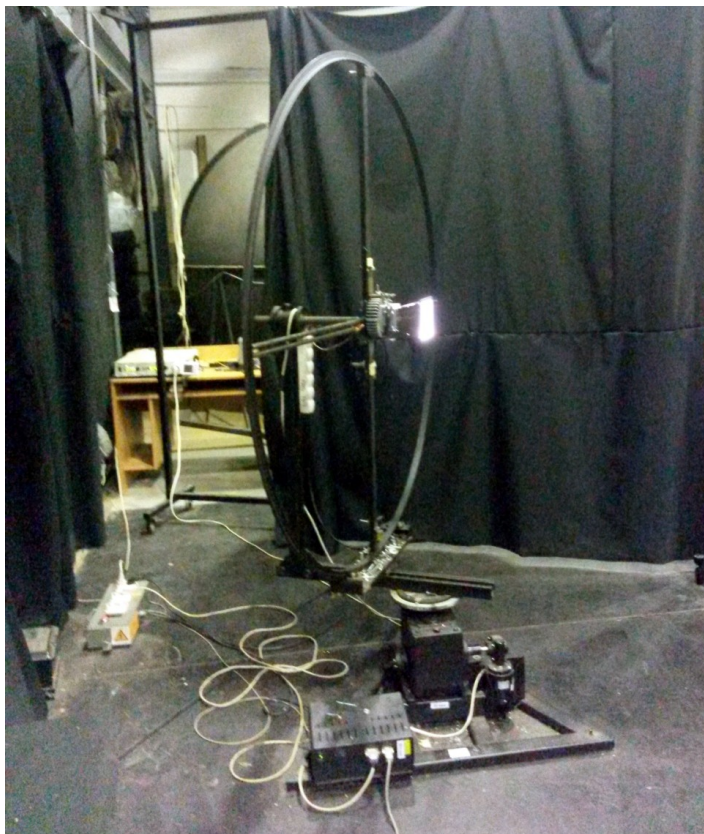
Obrázek 13-Lesklý reflektor z přímého pohledu (vlevo) a z bočního pohledu (vpravo)



Obrázek 14-Matný reflektor z přímého pohledu (vlevo) a z bočního pohledu (vpravo)

6.2. *Postup měření*

Prvním krokem před samotným měřením byl výběr LED downlightu a příslušných stínítek. Jako světelný zdroj byl použit LED downlight Philips DLM 3000 s příkonem 40W a světelným tokem 2859 lm dle kalibračního listu. Stínítka byla použita dvě různá. S lesklým a s matným povrchem, které jsou navrženy přímo pro tento typ světelného zdroje.



Obrázek 15-Velká fotometrická lavice se svítícím LED downlightem uprostřed

6.3. *Měření jasů pomocí jasového analyzátoru LMK*

Po seznámení se s hlavními funkcemi jasového analyzátoru, resp. funkcemi fotoaparátu Canon EOS 350D byl na místnosti pracoviště HARD (těžké laboratoře-budova L) vytvořen pracovní prostor pro měření. Světelný zdroj byl upevněn na velkou fotometrickou lavici a jasový analyzátor byl upevněn na stativ ve vzdálenosti přibližně 0,8m od měřeného světleného zdroje a do osy s měřeným světelným zdrojem. Tato vzdálenost byla zvolena ideálně co nejmenší, aby nebyla potřeba velkého přiblížení pomocí objektivu. Při měření downlightu bez stínítka byly jasy světelného zdroje velice vysoké a standardní nastavení clony, které bylo nastaveno na hodnotě F4 nestačilo. Snímky byly tzv. přepálené a jasový analyzátor nedokázal zachytit všechny vysoké jasy a měření tak mohlo být zkresleno. Proto při měření downlightu bez stínítka byla použita clona F13. Na fotoaparátu byla dále nastavena funkce AEB (automatické posouvání expozice). Tato funkce vyfotí tři fotografie s různými dobami uzávěrek (např. 1/10s 1/100s 1/1000s). Tím se zajistí zachycení jak nízkých, tak i vysokých jasů. Pro zachycení vysokých jasů je potřeba krátká doba uzávěrky, naopak pro nízké jasy je vhodná dlouhá doba uzávěrky.



Obrázek 16-Jasový analyzátor LMK na stativu

6.4. *Měření křivek svítivosti*

Světelný zdroj byl ponechán na velké fotometrické lavici a stativ s jasovým analyzátozem LMK byl nahrazen luxmetrem. Vzdálenost luxmetru od světelného zdroje musela splňovat podmínku dodržení fotometrické vzdálenosti. Při přesném měření se vzdálenost luxmetru od měřeného světelného zdroje určuje jako minimálně desetinásobek největšího rozměru měřeného světelného zdroje. Největší velikost byl rozměr stínítka, jehož hrana měřila 10 cm a tak fotometrická vzdálenost musela být minimálně 1m (měření bylo provedeno ve vzdálenosti 3m).

Na počítači, který řídí otáčení velké fotometrické lavice a ukládá data z luxmetru byly nastaveny hodnoty minimálního a maximálního úhlu natočení velké fotometrické lavice ($+90^\circ$ až -90°). Krok, se kterým luxmetr zaznamenával hodnoty osvětlenosti, byl 1° . Po dokončení automatického měření se hodnoty natočení a osvětlenosti uložili do textového souboru. Tyto hodnoty byly dále zpracovány pro vyhodnocení křivek svítivosti.



Obrázek 17-Luxmetr pro měření křivek svítivosti

6.5. Vyhodnocení měření

6.5.1. Vyhodnocení snímků z jasového analyzátoru LMK

Po naměření „vyfocení“ snímků byly fotografie z měření nahrány do počítače, kde byl také nainstalován program LMK labsoft pro vyhodnocení jasových map. Při prvním otevření programu na počítači bylo nutné vybrat z nabídky možností objektiv, jímž bylo měření realizováno. Při měření byl použit „krátký“ objektiv (18-50mm, F4-F16). Po potvrzení výběru správného objektivu bylo nutné nahrát do programu fotografie k vyhodnocení. Tento krok se provedl funkcí „Canon files“. Program LMK labsoft nabízí možnost výběru samostatných fotografií nebo série třech fotografií, které následně spojí v jeden snímek (funkce AEB). Po výběru snímku se na obrazovce objevila jasová mapa s rozsahem jasů, který lze dále zpracovávat. Pro přesné určení hodnot jasů byla označena plocha vyzařování funkcí „New polygon“. Pro vyhodnocení hodnot jasů byla zvolena funkce „Evaluation+Statistic“ a v nově otevřeném dialogovém okně byla zvolena funkce „Standart grey statistic“. Dole pod snímkem se objevila tabulka s hodnotami jasů na vyznačené ploše (minimální, průměrné a maximální hodnoty jasů).

Vyhodnocené jasové mapy měření této bakalářské práce se nacházejí v příloze (obrázky 18, 19, 20).

6.5.2. Vyhodnocení křivek svítivosti

Naměřená data z luxmetru byla vyložena do programu Microsoft Excel. Z hodnot osvětlenosti je vztahem $I = E \cdot l^2$ určena svítivost světelného zdroje. Pro tento vztah je nutnost znát vzdálenost luxmetru od měřeného světelného zdroje. Vzdálenost je 3 m. Z hodnot svítivosti a úhlů je možné vynést v polárních souřadnicích křivky svítivosti. Křivky svítivosti jsou na obrázku 18.

Při vyhodnocení průměrných jasů z křivek svítivosti je nutné znát plochy vyzařování daného světelného zdroje. Tyto plochy jsou vedené i s výpočtem v tabulce 7. Průměrný jas se vyhodnocuje vzorcem $L = \frac{I}{S \cdot \cos \alpha}$. S úhlem natočení svítidla se mění i plocha, ze které světlo vyzařuje a proto je ve jmenovateli vzorce plocha roznásobená cosinem daného úhlu.

Výpočet plochy vyzařování:

Tabulka 7-Rozměry LED modulu a reflektorů

| Typ stínítka | Rozměr (m) | Plocha vyzařování (m ²) |
|------------------|-----------------|-------------------------------------|
| bez stínítka | d=0,06 | 0,002827 |
| matný reflektor | a·b=0,11x0,11 | 0,0121 |
| lesklý reflektor | a·b=0,105x0,105 | 0,0110 |

Příklady výpočtu průměrných jasů z hodnot křivek svítivosti:

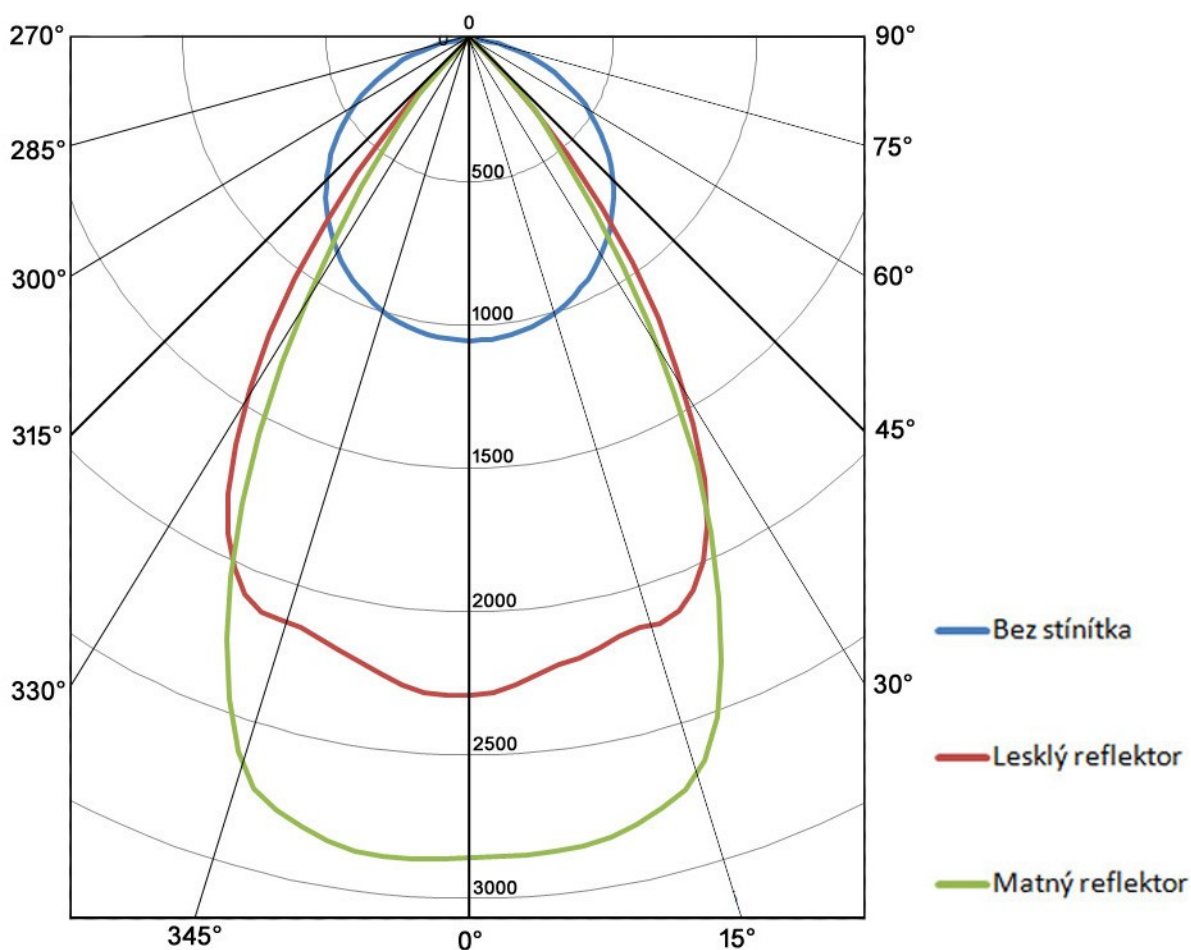
Názorný příklad jednoho řádku hodnot křivek svítivosti, pro které je příklad výpočtu uveden.

Tabulka 8-Příklad jednoho řádku hodnot (hodnoty pro downlight bez stínítka)

| úhel α (°) | E (lx) | I (cd) | L (cd·m ⁻²) | l (m) |
|-------------------|--------|----------|-------------------------|-------|
| 65 | 41,78 | 373,5174 | 312586,5 | 2,99 |

$$I = E \cdot l^2 = 41,78 \cdot 2,99^2 = 373,517 \text{ cd}$$

$$L = \frac{I}{S \cdot \cos \alpha} = \frac{373,5174}{0,002827 \cdot \cos 65} = 312586,5 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$$



Obrázek 18- Křivky svítivosti LED downlightu bez stínítka, s matným a lesklým reflektorem

7. Tabulky naměřených a vypočtených hodnot

7.1. Hodnoty jasů z programu LMK labsoft

Tabulka 9-Hodnoty jasů downlightu bez stínění

| Úhel natočení | $L_{\text{MIN}} (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$ | $L_{\text{STR}} (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$ | $L_{\text{MAX}} (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$ |
|---------------|--|--|--|
| 65° | 716 | 307000 | 461100 |
| 75° | 336,7 | 221500 | 393700 |
| 85° | 4,347 | 17320 | 90120 |

Tabulka 10-Hodnoty jasů downlightu s matným reflektorem

| Úhel natočení | $L_{\text{MIN}} (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$ | $L_{\text{STR}} (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$ | $L_{\text{MAX}} (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$ |
|---------------|--|--|--|
| 65° | 3,936 | 1066 | 6165 |
| 75° | 2,409 | 499,3 | 4163 |
| 85° | 0,3892 | 130,4 | 758,1 |

Tabulka 11-Hodnoty jasů downlightu s lesklým reflektorem

| Úhel natočení | $L_{\text{MIN}} (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$ | $L_{\text{STR}} (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$ | $L_{\text{MAX}} (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$ |
|---------------|--|--|--|
| 65° | 9,691 | 1186 | 3564 |
| 75° | 13,82 | 1151 | 2568 |
| 85° | 1,945 | 928,3 | 3939 |

7.2. Vypočtené průměrné jasy z křivek svítivosti

Tabulka 12-Průměrné hodnoty jasů downlightu bez stínění

| Úhel natočení | $L_{\text{STR}} (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$ |
|---------------|--|
| 65° | 312137,56 |
| 75° | 246184,11 |
| 85° | 136952,80 |

Tabulka 13 Průměrné hodnoty jasů downlightu s matným reflektorem

| Úhel natočení | $L_{\text{STR}} (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$ |
|---------------|--|
| 65° | 1126,55 |
| 75° | 456,52 |
| 85° | 107,66 |

Tabulka 14-Průměrné hodnoty jasů downlightu s lesklým reflektorem

| Úhel natočení | $L_{\text{STR}} (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$ |
|---------------|--|
| 65° | 1436,51 |
| 75° | 1299,81 |
| 85° | 1286,64 |

8. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo ověřit vybrané parametry LED svítidla a navrhnout případné řešení, jak je možné omezit jejich vysoké jasy.

Ověřované parametry jsou průměrné a maximální hodnoty jasů osvětlovací soustavy využívající LED světelných zdrojů. LED, jako světelný zdroj, má nevýhodu v tom, že se jedná o bodový zdroj a vykazuje tak velkou svítivost z relativně malé vyzařovací plochy. LED světelné zdroje sloužící pro osvětlování se v dnešní době instalují do LED modulů, kde je LED čipů integrovaných např. několik desítek. Tyto LED moduly stále vykazují velice vysoké průměrné i maximální jasy dosahující v přímých směrech až hodnot $1 \cdot 10^6 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Těmto vysokým hodnotám jasů se dá zamezit správným použitím clonících prvků nebo úpravou světelně činné části svítidla (použití reflektorů, difuzorů nebo kombinovaných systémů).

Měřením na osvětlovací soustavě je dokázáno, že jasy LED modulu bez použití stínítek dosahují v úhlech pohledu větších než 65° hodnot přes $300\,000 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ průměrné hodnoty jasu, což je z hlediska normy ČSN EN 12464-1 nepřijatelné bez použití stínících prvků. Jasy svítidla do $500\,000 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ se dle normy ČSN EN 12464-1 musí clonit minimálním úhlem clonění 20° . Při aplikaci stínítek ve formě lesklých a matných reflektorů na LED modul je měřením potvrzeno, že v úhlech pohledu větších než 65° byly vysoké jasy eliminovány na hodnoty přibližně kolem $1000 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ průměrných hodnot jasů.

Otázkou ale zůstává, co se děje s lokálními maximy jasů, které vznikají jako sekundární zdroje oslnění na povrchu reflektoru. Lokální maxima lze určit z jasových map, kde je vidět rozložení jasů v dané vyzařované ploše. Jako předmět dalšího bádání v oblasti fyziologie lidského oka je právě vyhodnocení průměrných a maximálních hodnot jasů. Prozatím nevíme, zda lidské oko dokáže vyhodnotit jednotlivé body lokálních maxim nebo jas dané plochy vyhodnotí jako průměrnou hodnotu.

Dalším důležitým bodem v oblasti omezení oslnění je správný návrh konstrukce LED svítidel. Při nesprávném návrhu mohou reflektory LED svítidel způsobovat oslnění sekundárními odrazy. Stejně tak i difuzní kryty nemusí svůj účel splnit a jasy svítidla budou stále natolik vysoké, že svítidlo nevyhoví dovoleným hodnotám jasů.

LED světelné zdroje mají oproti ostatním typům světelných zdrojů velkou výhodu a to především z hlediska úspory elektrické energie. Z malého výkonu vygeneruje světelný zdroj velký světelný tok. Tyto kladné vlastnosti je potřeba neustále vylepšovat při současném dodržování platných norem zabývajících se oslněním.

Seznam použité literatury:

[1] SOKANSKÝ, Karel. *Světelná technika*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.

[20] ČSN EN 12464-1. Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů: Vnitřní pracovní prostory. 2011.

[21] Ing. Zbyněk Carbol, Ing. Tomáš Novák, Ph.D. a Ing. Jan Šumpich. HODNOCENÍ JASŮ LED SVÍTIDEL TYPU DOWNLIGHT. , 7. DOI: HODNOCENÍ JASŮ LED SVÍTIDEL TYPU DOWNLIGHT.

Seznam použitých webových stránek:

[2] *Podstata světla* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/185/01.html>

[3] *Fyzikální podstata světla* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/fyzikalni-podstata-svetla--16967>

[4] Světlo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Sv%C4%9Btlo>

[5] *Historie LED žárovek* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://www.kvalitni-led.cz/info/historie-led-zarovek/>

[6] *Historie LED* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://www.svitime-usbporne.cz/advisor/historie-led>

[7] *Historie LED* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://www.tesla-lighting.cz/led-technologie/led-historie/>

[8] *Historie LED diody* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: http://www.osram.cz/osram_cz/novinky-a-znalosti/led-domov/technicke-informace/zakladni-prehled-led/historie-led/index.jsp

[9] *Obrázek-LED* [online]. In: . [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: http://www.dnesnibydleni.cz/wp-content/uploads/2013/10/60_LED_3W_Spot_Light_eq_25W.jpg

[10] *Obrázek žárovky-Edison Carbon Bulb* [online]. In: . [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Edison_Carbon_Bulb.jpg

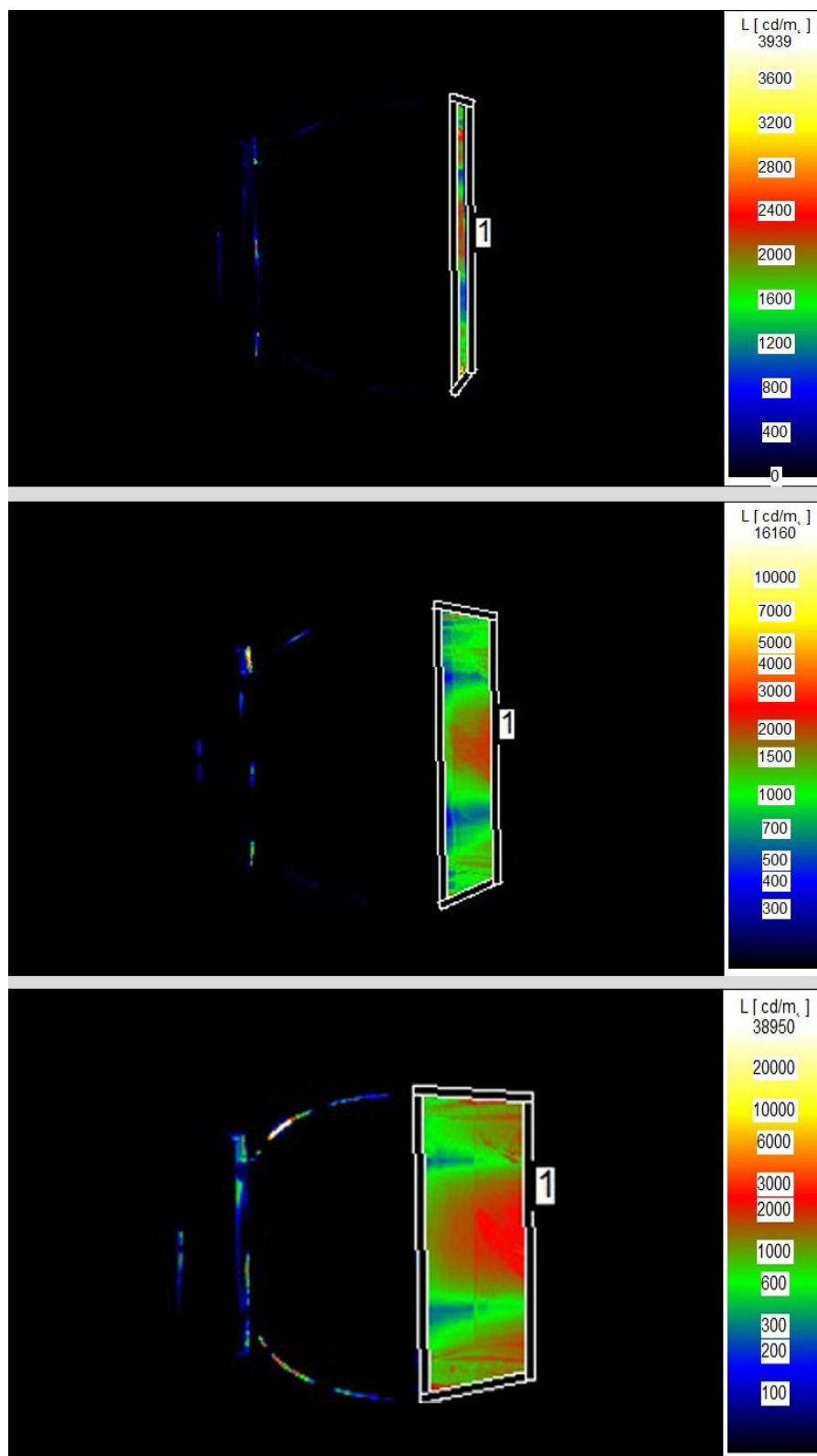
[11] *Obrázek spektra* [online]. In: . [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQqtG11njbekV-NJtopOFnGWfKfjnFE3AyquaalJFBoRGYkrfGR>

- [12] *Parametry světelných zdrojů* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://www.gigalighting.cz/parametry-svetelných-zdroju.htm>
- [13] *Jak LED diody fungují* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://eshop.ledsolution.cz/led-diody-technicke-udaje>
- [14] *Slovníček pojmů* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <https://www.led-zarovky.cz.cz/slovnicek-pojmu>
- [15] *OSRAM 18W/827 G13 LUMILUX-T8 zářivka lineární* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://shop.lightpark.cz/osram-18w-827-g13-lumilux-t8-zarivka-linearni/d-105115/>
- [16] *PHILIPS TORNADO E27 20W/827 úsporná žárovka* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://shop.lightpark.cz/philips-tornado-e27-20w-827-usporna-zarovka/d-105487/>
- [17] *OSRAM CLASSIC E27 77W 230V 64547 halogenová žárovka* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://shop.lightpark.cz/osram-classic-e27-77w-230v-64547-halogenova-zarovka/d-106787/>
- [18] *LED žárovka 16W E27 2700K CRI 80 150st.* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://www.zarovky.cz/led-zarovka-16w-e27-2700k-cri-80-150st/>
- [19] *TESLAMP žárovka 100W 230V E27, klasická čirá žárovka* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://shop.lightpark.cz/teslamp-zarovka-100w-230v-e27-klasicka-cira-zarovka/d-106966/>
- [22] *Nové příležitosti pro svítidla s LED* [online]. [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/42544.pdf>
- [23] *Výpočet činitele odrazu místnosti* [online]. [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <http://www.lustry-svitidla.cz/vypocet-cinitele-odrazu-mistnosti>
- [24] *obrázek reflektoru-Černý LED reflektor 10W SLIM denní bílá* [online]. [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <https://www.ledsviti.cz/cerny-led-reflektor-10w-slim-denni-bila/>
- [25] Svítidlo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Sv%C3%ADtidlo>
- [26] *Svítidla* [online]. [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <https://www.kvelektro.cz/sortiment/svitidla/>
- [27] *Kvantita a kvalita osvětlení* [online]. [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/kvantita-a-kvalita-osvetleni--16290>
- [28] *Obrázek difuzoru-LED pásky - jak je nainstalovat a další odpovědi* [online]. In: . [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: http://pandatron.cz/?825&led_pasky_-_jak_je_nainstalovat_a_dalsi_odpovedi

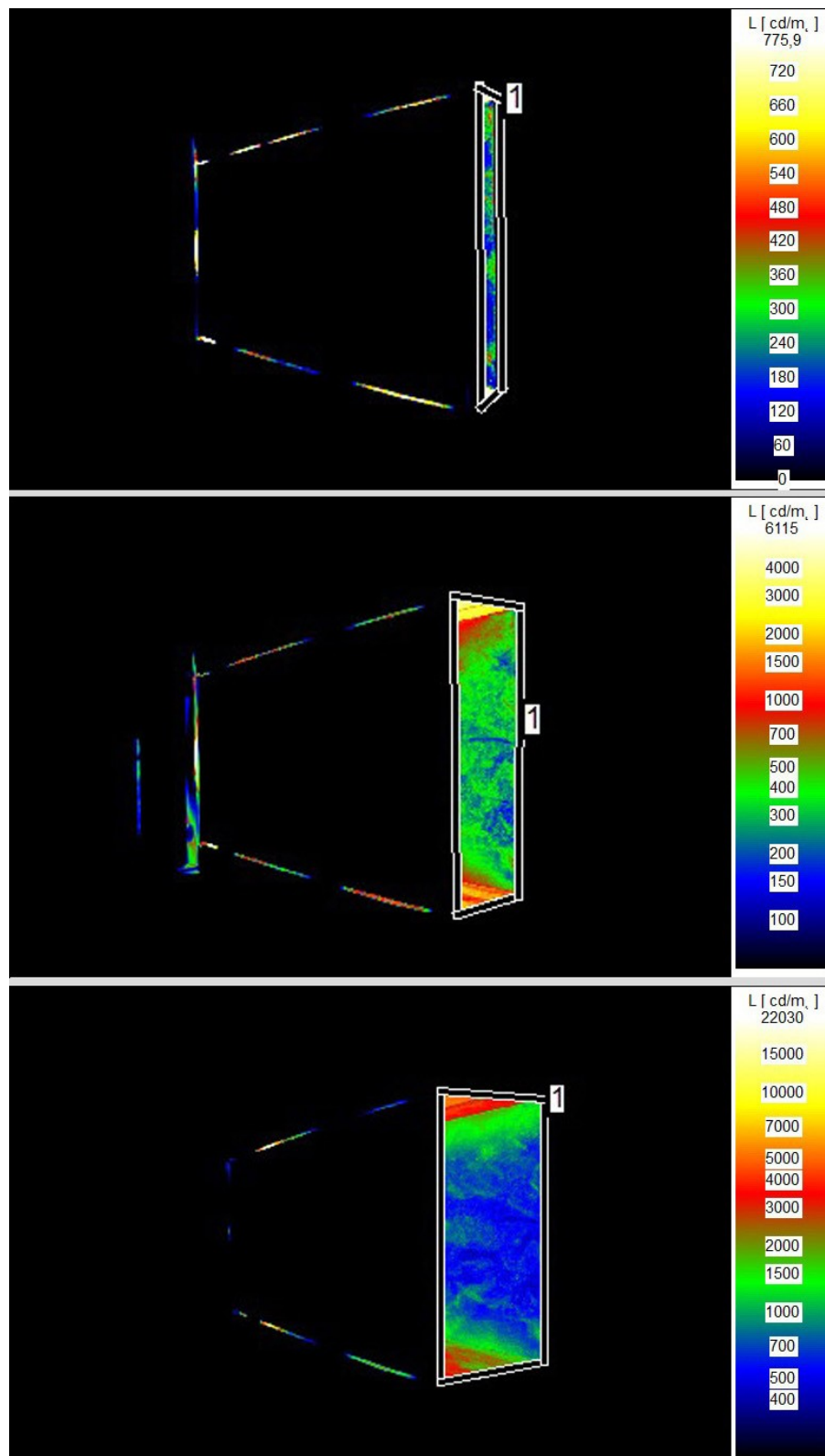
Přílohy:



Obrázek 19-Jasové mapy downlightu bez stínítka pro (85°, 75°, 65°)



Obrázek 20-Jasové mapy downlightu s lesklým reflektorem pro (85°, 75°, 65°)



Obrázek 21-Jasové mapy downlightu s matným reflektorem pro (85°, 75°, 65°)